

RECREACIÓN ARTÍSTICA
DE UN ESQUELETO DE BALLENA



| | |
|--|---|
| Dirección del proyecto | Consuelo de la Cuadra González-Meneses |
| Investigadores principales y Ejecutores del proyecto | Carlos Pereira Prado María Jesús Romero Palomino Paris Matía Martín |
| Técnicos especialistas | Fernando García Bermejo Carlos Romero Berruete |
| Documentación fotográfica | Joaquín Perea González Luis Castelo Sardina |
| Dirección de Faunia | Agustín Goya Nuño |
| De la Facultad CCBB | Antonio Tormo Garrido |
| Estudiantes | Silvia Álvarez López-Dóriga Susana Barreales Valbuena Floencia Cintora Sanz Noelia García Fernández Rita Gil Macarrón César Orrico Méndez Belén Ortego Delgado Paula Palacio Erdozain Cristina Rodríguez Serrano Javier de la Rosa Alarcón María Ester Torres Pérez |
| Autores y editores de la publicación | Carlos Pereira Prado Consuelo de la Cuadra González-Meneses María Jesús Romero Palomino Paris Matía Martín |
| Diseño y maquetación | Carlos Pereira Prado María Jesús Romero Palomino |
| Imprime | Campus digital |
| Fecha de publicación | Enero 2012 |
| Lugar de publicación | Madrid |
| ISBN | 978-84-695-1273-9 |

**RECREACIÓN ARTÍSTICA
DE UN ESQUELETO DE BALLENA.**
Grupo de Investigación Arte, Ciencia y Naturaleza.



INTRODUCCIÓN

Durante el año 2006 la empresa Parque Biológico de Madrid contactó con el grupo de investigación “Arte Ciencia y Naturaleza”, de la facultad de Bellas Artes con el fin de establecer un convenio de colaboración consistente en el proyecto y realización de un facsímil de esqueleto de ballena.

La reproducción quedaría sumergida en la simulación del fondo marino del ecosistema polar de los pingüinos, en el parque de Faunia.

En esta publicación se hace un relato del proceso. Se describen las condiciones básicas del proyecto, el proceso técnico de reproducción, la colaboración de la Facultad de Ciencias Biológicas y del Museo de Ciencias Naturales y la relación de los colaboradores técnicos, profesores y alumnos.

Realizadas las mediciones y estimaciones previas, se redactó el convenio de colaboración que enmarca este proyecto.



OBJETIVOS BÁSICOS DEL PROYECTO

Realizar un facsímil de esqueleto de ballena capaz de resistir la inmersión en agua salada, aguantar la actividad lúdica de los pingüinos, no interferir negativamente en la seguridad biológica del entorno y realizar la reproducción con la máxima fidelidad al original.

Pasos previos:

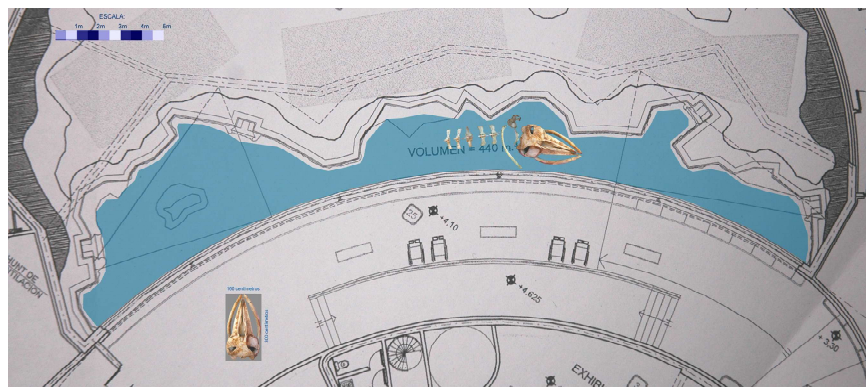
1- Definir el resultado final esperado.

Facsímil de cráneo de ballena, junto con vértebras y otros elementos significativos del mismo. Se incluirán otros facsímiles del fondo marino, tales como algas y estrellas de mar. Quedará sumergido en agua salada, e iluminado con luz suave imitando el ciclo solar de los polos. Los pingüinos tendrán acceso visual y táctil. Los observadores humanos sólo visual.



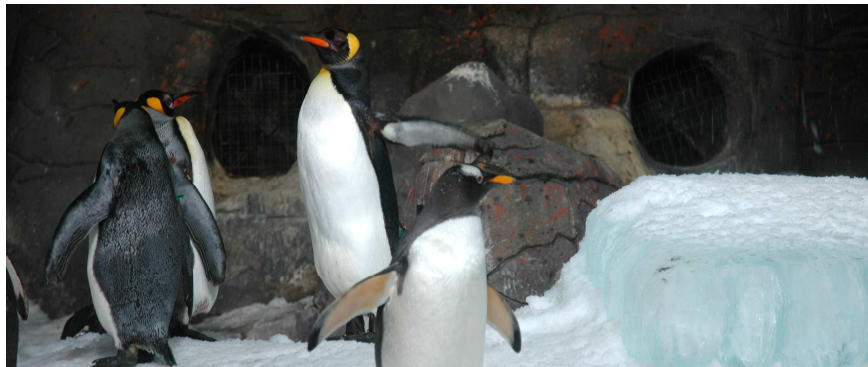
2- Concretar la situación en el plano, medir espacio y accesos. Comprobar si el tamaño de las piezas permitirá el paso por los mismos.

3- Estudio del posible comportamiento del público más interactivo como es el de los pingüinos, que describe a continuación Agustín Goya, director de Faunia.



ECOSISTEMA POLAR DE FAUNIA. Exhibición Subantártica.

Agustín Goya Nuño



La Exhibición Subantártica es la instalación principal del Ecosistema Polar de Faunia y una de las mayores del mundo junto con la del zoo de Edimburgo (Escocia), Loro Parque (Tenerife), y el Sea World San Diego (California, EE.UU.). Esta instalación reproduce una zona de playa subantártica cercana al Polo Sur o al continente de la Antártida, y para que nuestra representación fuese lo más exacta posible tomamos como ejemplo la isla de Georgia del Sur cercana a Tierra de Fuego en Sudamérica y a la Península Antártica.

Las condiciones en cuanto a temperatura, fotoperiodo, orografía y calidad de aire son similares a las que encontraríamos en una de las playas de esta isla. Por ello son ideales para mantener y criar aves marinas antárticas y subantárticas. Debido a la especial biología de las especies que alberga, esta instalación cuenta con unos particulares sistemas que mantienen la pureza tanto del aire como en el agua.

Nuestra instalación consta de dos partes diferenciadas, una zona de tierra y una acuática. La primera se trata de una isla de 550 m², con superficies y zonas diferenciadas para las diferentes especies. En

cuanto a la orografía del terreno, para reproducir las costas rocosas y la parte del océano helado que llega hasta el mar, en todo el perímetro de la instalación se extiende una zona a varias alturas y con distintas zonas accesibles para los animales. En la zona próxima al agua se diseñaron varias playas y cortados que permiten a los animales entrar y salir con mayor facilidad. En la parte interior se distribuyen zonas heladas con nieve que cae de las máquinas situadas en el techado de la exhibición y que fabrican nieve artificial en forma de escamas de hielo. Son en total cuatro máquinas escarchadoras con cuatro toberas que llegan a producir 8 Toneladas de nieve al día.

Esta instalación cuenta con una filtración especial, que permite una renovación del 15% del aire de la exhibición por hora. Este sistema está formado por un filtro absoluto con una retención de partículas de hasta 3 micras, lo que permite una pureza de aire del 99,96%. El filtro absoluto se cambia semestralmente, y el prefiltro de entrada de aire entre 4 y 6 veces al año.

A nivel preventivo para el control de microorganismos como bacterias y hongos se realizan tomas de muestras de aire todas las semanas.

La zona acuática está formada por un tanque de agua salada con un volumen total de 440 m³ y una profundidad máxima de 4,5 m. El espacio contiene distintas grutas con columnas, además de partes abiertas que dan acceso a la superficie.

Esta instalación ofrece al público dos visiones completamente distintas y complementarias. Una superior en donde se divisa la playa marina desde la costa además de una primera visión subacuática a nivel de superficie y una inferior sumergida en la cual el visitante podrá disfrutar de una recreación de un fondo oceánico subantártico y de las adaptaciones submarinas de los pingüinos.

El sistema de filtración, formado por filtros de arena, skimmer de proteínas, Inyectores de ozono, filtros biológicos y lámparas ultravioleta es capaz de purificar toda el agua de la instalación cada 4 horas y está en funcionamiento permanente.

Además, para mantener el nivel óptimo de calidad del agua se hacen cambios parciales de agua cada semana. La temperatura se mantiene todo el año a unos 11°C.

Con la idea de reproducir el diagrama climático característico de las latitudes antárticas, pero manteniendo un compromiso de ahorro energético, en el interior de la instalación contamos con un gradiente térmico anual adecuado para los animales, con temperaturas que oscilan entre los -4°C en invierno a los $4-5^{\circ}$ en la época de verano que coincide con el periodo reproductivo de estas aves. Para poder alcanzar estas temperaturas la instalación cuenta con una planta térmica que consta de seis climatizadores conectados a dos máquinas térmicas de la marca Climaveneta. Cada una de ellas está formada por un motor de explosión de cuatro tiempos con gas natural como combustible que asociado a un compresor frigorífico alimenta a los climatizadores mediante un circuito en el cual circula agua glicolada subenfriada a -8°C .

Un complejo sistema de iluminación asistido por un programa informático específico recrea el fotoperiodo propio de las zonas situadas a 55° latitud sur. Se obtiene una intensidad máxima de 3000 luxes, gracias a la utilización de distintos tipos de lámparas: cuarzo-yodo, vapor de mercurio, halogenuro metálico y luces anaranjadas de fluorescencia que además de recrear la iluminación solar desde las longitudes de onda ultravioleta hasta el espectro visible, simulan las horas crepusculares. Además la instalación cuenta con 8 lucernarios que a través de un sistema de conductos dejan entrar luz natural. Estos se pueden abrir o cerrar según el momento del año (cerrados en su invierno y abiertos en su verano). La simulación de un fotoperiodo adecuado es un elemento fundamental a la hora de conseguir que las especies de aves alojadas consigan mudar de forma sincrónica y desarrollen las pautas reproductivas en el momento propicio.

Todos los sistemas (filtración, climatización e iluminación) están duplicados y se encuentran conectados a un generador de emergencia por si se produjeran averías o cortes en el suministro eléctrico. El control, manejo y supervisión de toda la instalación subantártica se encuentra centralizado a través de un programa informático tipo trend ubicado en la sala de control del parque.

En cuanto a la colección animal propiamente dicha, encontramos en esta instalación una buena muestra de las aves que viven en el extre-

mo austral del planeta: más de un centenar de pingüinos de seis especies diferentes: Adelia, Barbijo, Papúa, Rey, Saltarrocas y Magallanes.

Los animales se identifican de manera individual. Cada animal presenta una banda alar de diferentes colores que corresponde a un código de identificación. Cada especie cuenta con colores distintos y los sexos se disgregan por la posición de estas bandas. Los machos llevan dicha banda en el ala izquierda mientras que las hembras las tienen en la derecha. Además los animales llevan un microchip implantado a nivel subcutáneo. Es fácil diferenciar las distintas especies por su plumaje o tamaño pero no lo es tanto diferenciar cada uno de los ejemplares.

Para la alimentación de los animales se utilizarán diversos tipos de pescado (arenque, espadín, capelín, eperlan) calamar, almejas y langostinos y kril. Se utiliza un suplemento vitamínico para aves piscívoras especialmente preparado para nuestros animales, con la composición de vitaminas y minerales, necesarios para ellas. Estas atenciones son especialmente necesarias ya que nuestro control de calidad microbiológica exige que el pescado tenga que venir ultracongelado de alta mar desde los mismos barcos factoría. Sin embargo esta ventaja de mantener el alimento libre de microorganismos patógenos tiene como contrapartida la pérdida de vitaminas hidrosolubles (B y C) durante el proceso de descongelación. Para garantizar la correcta alimentación de cada uno de los ejemplares diariamente los cuidadores suministran a mano las vitaminas dentro de pescados.

Además de las tomas que se les da en tierra, los cuidadores estimulan a estas aves a comer en el agua. También se administran pescados dentro de bloques de hielo y de comederos que se sumergen para que los animales extraigan los pescados.

Pese a que la instalación recrea de forma fiel el modo de vida de los pingüinos, el Departamento Técnico prepara de manera habitual nuevos estímulos tanto físicos como psíquicos para estos animales. Dentro de estos programas se incluyen juegos, nuevos materiales y elementos con los que los pingüinos interactúan. Bajo esta línea cualquier elemento externo introducido en la instalación funciona no sólo como vía de enriquecimiento ambiental sino que cumple una función educativa adi-

cional. Un ejemplo de ello es la reciente introducción de partes de un esqueleto de ballena (rorcual común) además de distintas estrellas marinas distribuidas en el fondo oceánico. Estos contenidos son parte fundamental de las diversas actividades educativas, visitas guiadas, talleres interactivos y campamentos urbanos, ya que sirven de herramienta para ilustrar la peculiar red alimenticia que existe en las aguas antárticas con el diminuto plancton como base y las ballenas como colofón de los grandes mamíferos.

Por último, Faunia participa de forma activa en el programa de cría internacional del pingüino de Humboldt que actualmente se encuentra gravemente amenazado. Este proyecto se enmarca dentro de los programas de conservación de especies amenazadas y en vías de extinción de Faunia.

CONCRETANDO EL PROYECTO

Como ha comentado Agustín Goya, los pingüinos van a utilizar el fondo del mar como lugar de juego y de búsqueda de comida. Intentarán picotear y, si se puede, arrancar y llevar a la superficie objetos y fragmentos del fondo. Así ocurrió con las primeras muestras de estrellas de mar. Se realizaron en resina epoxi y con la misma resina se adhirieron a las piedras del fondo. Consiguieron arrancarlas y subirlas a la superficie.

En las siguientes muestras se incrementó la resistencia anclándolas por medio de espigas de fibra de vidrio..



De los comentarios anteriores se deducen varias propiedades del material y técnica del facsímil:

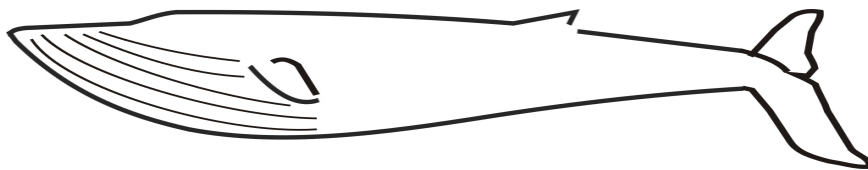
- Adecuada resistencia mecánica.
- Ausencia de impacto biológico negativo en el medio.
- Densidad mayor que la del agua para que no flote.

Definidas las condiciones del facsímil, la siguiente operación consistió en localizar los originales utilizables para realizar el moldeo y vaciado. Se contactó con la facultad de Ciencias Biológicas y con el museo de Ciencias Naturales. Como resultado se pudo utilizar un cráneo de rorqual común de Biológicas, y diversas vértebras, costillas y homóplato del museo de Ciencias Naturales.

EL TRISTE DESTINO DE UN RORCUAL ADOLESCENTE

*Antonio Tormo Garrido
Decano de la Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad Complutense de Madrid*

Corría la primavera de 1993. Un rorcual común, adolescente de unos 20 años, navegaba feliz y contento por las límpidas aguas de nuestro Océano Atlántico. Y como buen adolescente, hambriento. Alimentar un cuerpo de 15 m de longitud y de 15.000 Kg de peso no es tarea fácil. Requiere ingentes cantidades de comida diaria. Y nuestro ballenato no discriminó lo que era su alimento clásico de los vertidos de nuestra flamante sociedad de consumo. Y se atiborró de cientos de kilos de plásticos que le llevaron a la enfermedad y finalmente a la muerte. Su cadáver llegó a las costas de Camariñas donde quedó varado junto al mar que le vio nacer.



El calor empezó a ejercer su destructiva acción sobre el cadáver. Los vecinos del pueblo crecieron en descontento día a día ante las vaharadas que les llegaban desde el lugar donde las gaviotas festejaban un inesperado y abundante festín. Su Alcalde, conocedor de la existencia de un grupo inasequible al desaliento y a los olores en pro del Conocimiento y de la Ciencia, contactó con el Alma Mater del Museo de Anatomía Comparada de Vertebrados de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Complutense de Madrid. El Profesor Manolo Fernández Cruz vio la posibilidad única de disponer de un gran (en todos los sentidos) y único ejemplar. Solicitó ayuda al entonces Rector de la UCM, Gustavo Villapalos, que se comprometió a la financiación del traslado de los restos de la ballena a Madrid. Y así se hizo.

Una expedición de unas 8 personas formada por Manolo y profesores y alumnos de Zoología partieron en un camión rumbo a Galicia, donde el pueblo de Camariñas les esperaba con ansiedad (aunque, todo hay que decirlo, con más ansiedad esperaban su despedida). Nada más llegar, la Sociedad Galega de Historia Natural reclamó para Galicia los restos del mamífero. Gracias a la intervención del Alcalde las aguas volvieron a su cauce y la ballena a Madrid.

La Escuela Taller del Ayuntamiento ayudó a la expedición a las labores de descarnamiento de 15.000 Kg de cadáver. Tarea, como puede suponerse, nada agradable. Cuchillos, sierras y machetes para una bellísima imagen *gore*. Nuestros compañeros irradiaban ilusión y felicidad. No era un cadáver. Era un maravilloso tesoro que desenterraban para el engrandecimiento del Museo y del Conocimiento. Los restos fueron enterrados con cal viva para su completa destrucción y saneamiento.

El camión con su carga de vértebras, costillas, mandíbulas, aletas y cráneo partió a Madrid. A su llegada surgió el primer problema. ¿Dónde almacenar los huesos limpios pero ni mucho menos relucientes? Una ballena de 15 m no es algo que quepa en una cámara frigorífica o en un congelador. Pues qué mejor sitio que el garaje de la Facultad. Y allí dieron los huesos del rorcual. Los pacíficos usuarios del garaje vieron y olieron con estupor, resignación y finalmente indignación la pila de huesos que se amontonaban sobre unos palés. Los días y semanas pasaban mientras que los olores se enseñoreaban de nuestro aparcamiento cada día con más fuerza. Aguantar se aguantó. Pero llegó un momento en que la resignada población de geólogos, botánicos, ecólogos, fisiólogos, citólogos, biomatemáticos, microbiólogos, genéticos y bioquímicos (aunque en aquellas fechas los bioquímicos todavía no vivíamos en esta Facultad) dejó de sonreír y taparse las narices ostentosamente y, manifestando una clara (aunque explicable y razonable) falta de solidaridad con los zoólogos, exigió perentoriamente el desalojo del pobre rorcual okupa que abandonó su precario domicilio, migrando a las alturas de la terraza de nuestro edificio, donde el aroma de cadaverina fue discretamente diluido por los vientos serranos.

El trabajo comenzó con la misma llegada del futuro inquilino del Museo.

El taller de preparación de esqueletos del Departamento de Zoología cuenta con unas instalaciones vulgarmente llamadas las “Cocinas del Infierno” donde en calderos gigantescos se procedió a hervir con agua y xilol las vértebras, aletas y costillas. De esta manera se eliminaban los restos de musculatura y se procedía al desengrasamiento de los huesos, proceso este último necesario en la preparación de esqueletos de cetáceos. Este proceso fue realizado con extremo cuidado dado que la porosidad y juventud de los huesos del Rorcual podían terminar deshaciéndose en el agua. Hasta una docena de veces hubo que hervir cada pieza para su completa limpieza. Las piezas de mayor tamaño fueron imposibles de procesar. Las mandíbulas se depositaron en la terraza de nuestro edificio y el cráneo en los viveros de nuestra Universidad donde el tiempo y sol se encargaron de su limpieza total. Ninguno de los huesos fue tratado con agua oxigenada que es la que da el característico color blanco, quedando la osamenta de un color ligeramente amarillento.

Dos años de difícil trabajo llevó la preparación del ejemplar, labor en la que participaron entusiastamente el Profesor Manolo Fernández Cruz y un importante elenco de profesores y estudiantes entre los que fue uno de los más relevantes Francisco Iñiguez (alias “el legionario” por su afición a ir simplemente en mangas de camisa y despechugado).

Finalmente surgió el último problema que todavía no ha sido solucionado. Y ahora, se dijeron en 1994, ¿Qué hacemos con todos los huesos? ¿Dónde puede montarse y exhibirse un esqueleto de 15 m? Sin dinero para su montaje y sin espacio para su exhibición, los huesos (todos ellos, sin ninguna falta) fueron etiquetados y debidamente almacenados (aunque para ello hubo que habilitar unos grandes aseos del sótano como almacén de grandes piezas, que no es el rorcual el único sino que comparte espacio con una jirafa y un camello). Y allí siguen. El cráneo experimentó un peor destino. Quedó en los viveros y las lluvias y el tiempo fueron semienterrándolo, en la tierra y en el olvido.

Un buen día, diez años después de la ubicación del cráneo a la intemperie recibí una llamada excitada y excitante de Consuelo de la Cuadra. Había encontrado un cráneo de ballena abandonado en los viveros.

¿Estaríamos interesados en él? ¡Mi contestación fue inmediata y veloz como un relámpago! ¡Cómo que si estamos interesados! ¡Es nuestro! Pero hay que reconocer que gracias a Consuelo recuperamos del olvido la cabeza de nuestro Rorcual. Fue el grupo de Investigación “Arte, Ciencia y Naturaleza” quién restauró y limpió el maltrecho cráneo, quién nos lo trajo a la Facultad tras hacer una copia en resina que reposa en el fondo del acuario marino de Faunia. Así que aunque de manera llamémosla virtual, nuestro rorcual continua su existencia en un fondo marino madrileño, disfrutando de la admiración de pequeños y no tan pequeños, en un agua libre de plásticos.

La aventura de nuestra ballena todavía no tiene respuesta. ¿Qué será del esqueleto? ¿Saldrá algún día a la luz? La respuesta es Sí. Un día, espero que no muy lejano, cuando la Facultad o la Universidad o alguna Empresa colaboradora tenga fondos que destinar a la mejora de nuestro Museo, el rorcual será montado y expuesto en nuestros jardines interiores adyacentes al Museo de Anatomía Comparada de Vertebrados. Mientras ese día llega, las piezas rescatadas pasarán a exhibirse en nuestro Salón de Actos y en nuestra Sala de Grados.

APÉNDICE: EL RORCUAL COMÚN

El **rorcual común** (*Balaenoptera physalus*), es el animal mayor del mundo detrás de la Ballena Azul. Vive en prácticamente todos los océanos, tanto en aguas frías como templadas. La densidad de esta ballena fue muy alta pero, debido a la caza intensiva que sufrió durante el s XX llegó a casi la extinción. En un siglo las poblaciones del Hemisferio Sur se redujeron desde los cientos de miles hasta unos pocos miles. Gracias a la moratoria que pesa sobre su caza (y que es incumplida por algunos países) el número de estos cetáceos se está recuperando aunque sigue catalogado como especie en peligro de extinción.

El tamaño medio de la especie es de aproximadamente 20 metros, llegando a alcanzar en machos adultos un peso de 70 toneladas. La edad adulta se alcanza alrededor de los 30 años. El periodo de gestación dura un año. Un recién

nacido mide 6,5 m y pesa aproximadamente unos 2.000 kg. El período de lactancia dura medio año, alcanzando la ballena en este tiempo una longitud cercana a los 12 m. Es un animal muy longevo, pudiendo llegar hasta los 90 años.

Para alimentarse abre sus mandíbulas, captando un gran volumen de agua con krill, moluscos y crustáceos en suspensión. Posteriormente expulsa el agua a través de las barbas que retienen el alimento. Un rorcual consume algo menos de 2.000 kg de comida diaria. El rorcual es una ballena muy veloz, llegando a nadar a velocidades superiores a 40 km/h. Se sumerge a profundidades de hasta 250 metros, durando cada inmersión entre 10 y 15 minutos. Los rorcua-les comunes viven en grupos de 6 a 10 individuos, aunque a veces se han observado hasta 100 ejemplares juntos. Emiten sonidos largos, altos y de baja frecuencia.

PROCESO TÉCNICO

*Carlos Pereira Prado,
Prof. Facultad de BBAA.*



Nivel de resolución de copia.

La resolución de copia define el nivel de fidelidad formal al original. Hay que determinar la exactitud de dos dimensiones, el tamaño y la cantidad de detalles mínimos. El tamaño o resolución métrica debe indicar la cuantía de igualdad entre el tamaño del original y la copia. Debe determinarse cuánta diferencia es admisible sin traicionar el impacto sensorial del original.

En cuanto a la cantidad de detalles mínimos o resolución espacial puede determinarse que no es necesaria una resolución mayor de la que nuestros sentidos pueden diferenciar. Así, atendiendo al sentido de la vista, su capacidad de resolución no es mayor de 0,1 mm, por lo que se podrían ignorar los detalles del original inferiores a 0,1 mm. Pero la realidad es otra, pues, aunque la vista no pueda diferenciar detalles individuales menores de 0,1 mm, sí puede captar diferencias entre áreas que se diferencian por la suma de efectos submilimétricos.

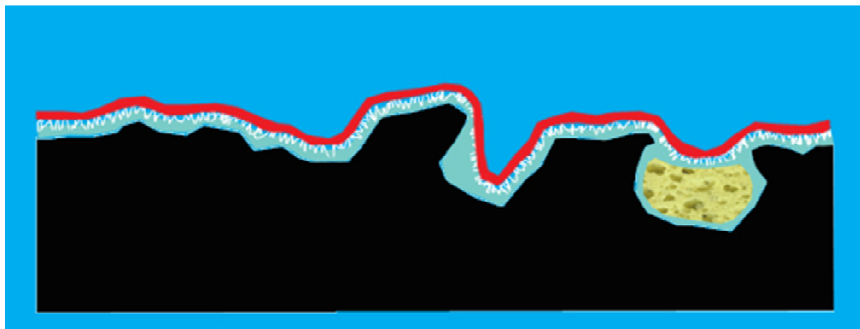
Como material de registro se eligió la silicona de condensación por su alta resolución, cercana a 0,001 milímetro, y por su moderado y controlable impacto sobre el original. Esta alta resolución de poco serviría si no la acompañara otra gran cualidad de las siliconas, que consiste en su capacidad de autodesmoldeo, que permite excluir la aplicación de desmoldeantes que falsearían los microdetalles.

También se utilizó como registro en algunas piezas el látex, de inferior capacidad de registro por la necesaria aplicación de desmoldeantes durante el registro y el vaciado. Los que visiten Faunia, y gocen de buena vista, puede que noten esta diferencia de registro comparando el cráneo (molde silicona) con las vértebras (molde látex).

Técnica de moldeo.

La utilización de elastómeros blandos y elásticos, como materiales de registro, requiere el complemento de una carcasa rígida, de mínima retracción que impida la deformación. En moldes pequeños se puede utilizar escayola, pero en piezas grandes hay que recurrir a las resinas de poliéster o epoxídicas, reforzadas con fibra de vidrio. Se eligió la resina epoxi, más cara, pero de menor retracción al curado y menor emisión de gases durante el proceso.

La carcasa rígida puede admitir dos modalidades: carcasa separable del material de registro, o carcasa adherida. En piezas complicadas se utiliza la modalidad separable. En piezas menos complicadas se puede acudir a la solución carcasa adherida que simplifica el proceso. El proceso de adherencia carcasa-elastómero se explica en la ilustración adjunta.



Negro: sección del original que se registra.

Azul claro: capas de elastómero. Esponja elástica en huecos.

Blanco: capa de tejido grueso de algodón. Hace de puente de unión entre elastómero y carcasa.

Rojo: Carcasa de epoxi y fibra de vidrio.

Estudio del original para comprobar autodesmoldeo e impacto visual del registro con silicona de adicción:



Según se muestra en esta fotografía, el interior del hueso es altamente poroso y se comunica con el exterior, más compacto, por medio de numerosos conductos.

En las pruebas realizadas de inmersión en agua se observa una alta absorción acompañada de ablandamiento.

La silicona autodesmoldea adecuadamente y crea una modificación visual poco apreciable del color gris claro de la superficie del hueso.

Se concluye como adecuado el registro con silicona, previa protección con jabón potásico, y regulando la tixotropía de la misma por zonas para disminuir la profundidad de penetración en los poros.



Detalle del proceso de moldeado con silicona.

Carcasa rígida incorporada a la capa de registro.

1- Si las diversas piezas en que se va a subdividir el molde son de baja complejidad se puede utilizar este sistema que simplifica notablemente el proceso. Como capa de registro se puede emplear silicona, o también caucho de látex, que es el que se ha utilizado en la ilustración adjunta.

Situado el tabique divisorio de pieza, se aplican 5 ó 6 capas de látex



2- Para que la posterior carcasa rígida se adhiera debe incorporarse un puente de unión que puede ser un tejido grueso, en este caso algodón grueso (muletón).

Aplicada la última capa de silicona o látex, antes de que cure, se aplica el tejido procurando que quede bien adherido, pero sin que se impregne la parte exterior.



3- Finalmente se impregna a fondo con resina la capa exterior.

Antes de separar las piezas del molde se realizan perforaciones a lo largo de las juntas de piezas para situarlas correctamente con pasadores o tornillos a la hora del vaciado.

Debe advertirse que, aunque experimentalmente hemos utilizado el látex, es preferible utilizar silicona, pues lo que se ahorra en el menor precio del látex, se pierde posteriormente pues el látex requiere capas de desmoldeo al vaciar, y se disminuye la fidelidad de reproducción



Carcasa rígida separable.

1- Aplicación del tabique divisorio. Sobre él se distribuyen huecos en forma de cola de milano. Estos huecos, al rellenarlos de silicona, permitirán el anclaje a la carcasa rígida.



2- Inicio del registro con silicona. Según las necesidades de cada etapa se regula con agentes tixotrópicos la viscosidad de la misma.

De modo práctico podemos medir la viscosidad por su grado de actividad. Puede ser “activa” o inactiva, con grados intermedios. Si es activa quiere decir que, al aplicarla, fluye rellenando huecos. Si es inactiva, al aplicarla sobre una superficie vertical no fluye, quedando confinada a la zona en que se ha aplicado con la espátula. La activa permite una seguridad mayor en el registro de detalles, la menos activa permite evitar que la silicona emigre al interior del original por pequeños agujeros o poros.



Primero se aplica a espátula silicona inactiva en las zonas con mayor peligro de escape de la silicona como puede ser en poros y grietas o en la zona de contacto de los tabiques divisorios.

A continuación se va aplicando silicona más activa que tienda a rellenar por sí mismo los huecos y detalles. Cuando ya se ha cubierto toda la parte visible de la pieza se aplica silicona inactiva hasta completar el grosor adecuado. Con una espátula rodeada de papel absorbente y empapada con agua se iguala la superficie de silicona.

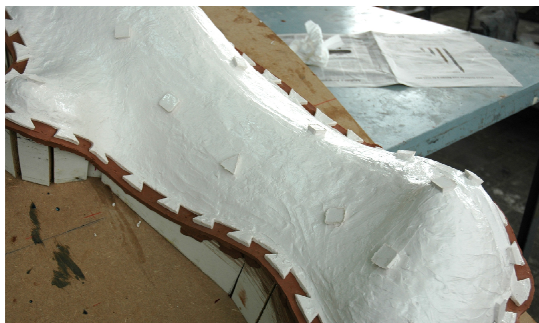
3- En piezas de cierto tamaño no bastan los anclajes del borde. Para situar exactamente la silicona al interior de la carcasa se requieren botones de anclaje distribuidos por el interior.

Se realizan vaciados de silicona en formas cónicas que se adhieren con silicona a la capa de registro, tal como puede verse en las dos últimas fotografías de esta página.

La distribución de estos botones debe considerar no dejar ninguna zona convexa sin ellos.



4- Cuando la silicona ha curado, se retira del tabique divisorio la plastilina que conforma las colas de milano, quedando la capa de registro en disposición de iniciar la preparación de la carcasa rígida, como puede verse en la imagen adjunta.



5- Preparación del mat de fibra de vidrio. Se recortan piezas que cubran toda la superficie de silicona, de modo que cada una cubra a la contigua en 1 cm. Sobre ellas se marcan y recortan los huecos de los botones de anclaje. Se guardan ordenadas para aplicarlas posteriormente.



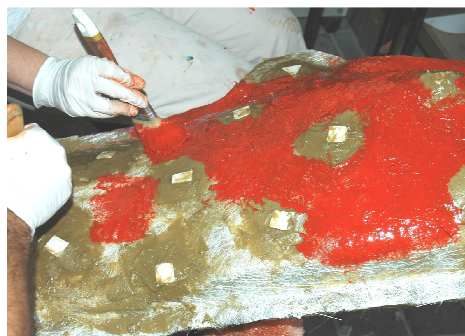
6- Aplicación de las primeras capas de resina. Pesados y perfectamente mezclados los componentes de la resina, se añaden las cargas y espesantes, hasta conseguir una viscosidad suficientemente inactiva que permita una cómoda aplicación a espátula. Los botones se cubren alrededor, pero dejando libre la parte superior.



Terminada la aplicación de la primera capa de resina, se sitúan en su sitio las piezas de fibra de vidrio y se presionan con la espátula para que se adapten y adhieran a la resina.

Cuando esta primera fase ha curado se aplica la última capa de resina. A esta composición de resina no se le aplican cargas ni espesantes, debe ser fluida y aplicarse a brocha para que el mat de fibra quede bien impregnado. Se puede aplicar algún color para asegurarse de que no queda ninguna zona por cubrir.

Si la pieza es grande deben incorporarse en los bordes varillas de acero, adheridas con resina y fibra.



7- Terminada la primera pieza del molde se van realizando sucesivamente las restantes.

Se elimina la plastilina de los tabiques divisorios ya realizadas, se añade desmoldeante de vaselina en las zonas de silicona ya curada para evitar que la nueva quede adherida, y se siguen los pasos descritos.



8- Realizadas todas las piezas, y antes de proceder a la separación, se repasan los bordes con una fresadora manual, y se realizan las perforaciones en tabiques contiguos para asegurar la perfecta coincidencia de piezas durante el vaciado.



9- Se inicia la separación de piezas extrayendo primero las carcasas rígidas y procurando que la capa de silicona siga adherida al original.

A continuación se separan las capas de silicona. Debe tenerse cuidado en qué dirección se estira la piel de silicona. En zonas donde la silicona registra huecos con poca salida, debe estirarse en la dirección más favorable para evitar roturas y daños tanto al original como al molde. En la fotografía adjunta, la dirección de estirado es la que indica la flecha.

Composición de la plastilina utilizada en el moldeo.



Marmolina o barro en polvo bien seco 400 g. cera roja, de abeja o microcristalina 220g. y vaselina 110 g.



Deben fundirse a temperatura moderada. Así se facilita la obtención de placas de distinto grosor sobre superficie de silicona y el reciclado y limpieza al pasar por tamiz.

La carga base puede ser marmolina de granulometría fina, pero puede emplearse barro seco en polvo o probarse con otras cargas.



La cera puede ser de abeja, o la cera roja de escultor, o la cera microcristalina. El aumento de proporción aumenta la dureza, y la facilidad de desmoldeo.

La vaselina utilizada es la filante. Pero puede probarse con otros tipos de aceites y grasas. El incremento de vaselina aumenta la blandura y la pegajosidad.

Ver otras interesantes fórmulas en *Maquetas, Modelos, y Moldes*, de José Luis Navarro Lizandra. Ed. Universitat Jaume I. Castellón, 2002

Diseño del material de vaciado.

Como propiedades del material de vaciado exigidas para este proyecto destacamos las siguientes:

- Adecuada resistencia mecánica
- Ausencia de impacto biológico negativo
- Densidad mayor que uno.
- Posibilidad de adecuar color al del original

Entre diversas opciones experimentadas se decidió realizar muestras de prueba con resina epoxi, cargas de cemento blanco con su porcentaje de agua de fraguado incorporado, dióxido de titanio, y matices grises a base de negro de humo, así como espesante comercial Bentone. Estas muestras se sometieron a las pruebas de comportamiento que se describen a continuación:

Ensayo de respuesta en muestra de agua salada extraída del hábitat de los pingüinos.

Muestra testigo de agua salada de acuario.
Muestra de agua salada con fragmento de resina color blanco, color con dióxido de titanio. Se indica el peso inicial (22,2525 g) y fecha de inmersión (29 diciembre. 2006).
Densidad = 1,2744

Muestra de agua salada con fragmento de resina color gris, coloreado con pigmentos de dióxido de titanio y negro de humo. Se indica el peso inicial (31,8548 g) y fecha de inmersión (29 diciembre. 2006).

Tiempo de inmersión: desde 29 de diciembre de 2006 hasta el 20 de diciembre de 2007.

Proliferación de algas verdes (verdín) que se eliminan con facilidad.

Peso con algas; muestra gris 32,3 (aumento de 0,4452), muestra blanca 22,6 (aumento de 0,3475).

Peso sin algas en 21 de diciembre de 2007: gris = 32,3877 g. aumento de 0,5329 g. blanca = 22,6642 g. aumento de 0,4117 g.

Conclusiones: absorción de agua cercana al 1,7%



Ensayo impacto biológico.

Además de la información de la empresa suministradora de la resina epoxi empleada en cuanto a la seguridad biológica, se ha realizado la siguientes prueba:

En acuario conteniendo 7 pececillos de la especie guppys, incluido un alevín de un día, con agua a 25 grados. Se introduce a fecha 24 de febrero de 2007, una muestra de resina epoxi con fibra de vidrio y cargas de blanco titanio y bentone (hectorita). Adherida capa con carga de cemento blanco (Valderribas, BL 22,5X). Peso de muestra: 84,7 g. Desarrollo normal.

El 7 de marzo muere uno de los machos mayores. El resto se observa normal. Dada la vida media (tres años) de la especie se interpreta como normal esta muerte.

El 12 de marzo y días siguientes nacen unos 15 alevines.

Observación a día 1 de abril: han nacido algunos alevines más. Desarrollo normal del resto.

Considerado correcto el resultado de las pruebas y el hecho de la amplia utilización de la resina epoxi en depósitos de agua potable, así como las especificaciones de los fabricantes en cuanto a seguridad sanitaria, se decide utilizar la formulación descrita, aplicando como refuerzo mat de fibra de vidrio y otras cargas sanitariamente inocuas.

Debe advertirse que posteriormente han surgido dudas sobre el BPA (bisfenol A), uno de los componentes de las resinas epoxi. Las últimas investigaciones de pruebas realizadas en roedores, concluyen que su presencia en el organismo puede actuar como disruptor endocrino, afectando posiblemente a las posibilidades reproductivas (ver *Riesgos del bisfenol A*, de Heather Patisaul, en Investigación y Ciencia, abril 2010).

El bisfenol A puede pasar de la resina curada al agua ambiente al calentarla. Es evidente que el ambiente frío, 11 grados, de las 44 toneladas de agua en que está sumergido el facsímil aleja el riesgo para los pingüinos. Aunque el tema está todavía en discusión científica, hacemos alusión a él para un posible seguimiento por los técnicos de Fauna.

Técnica del vaciado.

Separadas las piezas de registro se sitúan en su carcasa quedando listas para iniciar el vaciado.

Si la capa de registro no es autodesmoldeable para la resina epoxi, como es el caso del látex, se aplica el desmoldeante adecuado.

El proceso técnico seguido incluye la experiencia compartida con los alumnos entre los años 1995-2000, referente a la mejora técnica que significa aplicar las pátinas y colores locales, directamente en el molde para aprovechar al máximo la resolución de vaciado.



Materiales de vaciado.

Resina epoxi de la empresa FETASA, fetadit 55-63. Dos partes en peso del componente bisfenol A y una de poliamina como endurecedor. En total se han utilizado 190 kgs.

Cargas del espesante bentone, cemento blanco, dióxido de titanio y algo de negro de humo como color constitutivo.

Protocolo de aplicación y composición de materiales.

Color superficial:

Aplicar al molde de silicona las pátinas adecuadas de pigmentos con agua (tonos agrisados más oscuros que el color de resina que se va a aplicar) Para disimular brochazos repasar con trapos húmedos. Esta pátina debe aplicarse de modo que quede en las partes más salientes del molde, que son los huecos entrantes del vaciado.

Como se puede observar estos pigmentos van sin aglutinante, quedarán fijadas e incorporadas por la primera capa de resina

Primera capa de resina:

100 gramos de epoxi, 50 de catalizador: total 150 g

150 gramos de cemento blanco. 30 gramos de agua.

Mezclar epoxi catalizador y añadir cemento con agua.
Añadir 9 gramos de dióxido de titanio. Mezclar bien.
Añadir bentone hasta viscosidad adecuada (al aplicarlo en vertical debe dejar una capa cercana a 0,5 milímetros de espesor)
Añadir un ligero toque de negro de humo para obtener un color ceniza muy claro.
Iniciar la aplicación.

Segunda capa:

Recorte de mat de fibra de vidrio, gramaje 300. Retirar fibra.
Aplicar la misma formula de capa primera.
Aplicar las fibras de vidrio presionando a fondo con espátulas.
Cuando se ha terminado se aplica plástico fino y se presionan a mano todas las zonas de fibra de vidrio.

Tercera capa:

Retirar plástico. Aplicar a brocha capa de resina epoxi de impregnación (sin espesantes).
150 gramos de epoxi y catalizador.
150 gramos de cemento con 30 g de agua.
5 gramos de dióxido de titanio. Toque de negro de humo.

Detalles del proceso.

1- Aplicación de las pátinas superficiales de color.

Como casi todos los objetos, el esqueleto de ballena contiene dos clases de color, el color constitutivo (gris ceniza claro) y el color de pátinas superficiales.

Frecuentemente el color superficial de pátina se aplica una vez realizado el vaciado y retirado el molde, lo que es un notable error pues se desaprovecha el alto nivel de registro conseguido en el molde.

En el procedimiento seguido se han aplicado las pátinas y colores de superficie, directamente al molde.



2- Aplicación a espátula de la primera capa de resina. Se pesan y mezclan los componentes, se regula la viscosidad, y se inicia la aplicación a espátula teniendo cuidado de no desplazar los colores previamente aplicados. Espesor de capa entre 0,5 y 1 mm. Repasar los bordes para que no quede resina por encima de los bordes de pieza.



2- Cuando ha curado la primera capa de resina se inicia la segunda. Recortar las piezas de fibra de vidrio, de modo que cada retal monte sobre el de al lado al menos 1 cm. Se retiran las piezas de fibra y se inicia la aplicación de la segunda capa de resina.

Se adaptan en su sitio las piezas de fibra, se presiona con una espátula colocada de canto, se cubre con plástico fino de envolver, se presiona para que la fibra quede bien adherida a la resina, y se espera a que endurezca.



3- Se retira el plástico fino y se aplica la última capa de resina. Esta capa debe ser de baja viscosidad y se aplica a brocha para asegurar bien la impregnación.

Durante el proceso de curado de cada capa es conveniente ajustar en su sitio las piezas del molde coincidentes, previa aplicación de dos pieles de plástico fino que eviten la adherencia. Esto impedirá que quede resina sobrante fuera de sitio que impediría la perfecta coincidencia de piezas (ver fotografía adjunta)



4- Unión de piezas. Terminado el vaciado de todas las piezas del molde, se inicia la unión de las mismas. Se comprueba la perfecta coincidencia. Si es preciso, retocar con fresas fragmentos de resina sobrante.

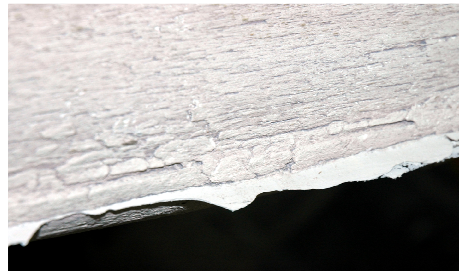
Preparar resina de la misma composición y color que las anteriores. Componer un grado de viscosidad que permita aplicar un cordón de resina estable en todos los bordes que van a quedar unidos.

Antes de unir las piezas aplicar desmoldeante a todos los tabiques divisorios que van estar en contacto para evitar que la resina de unión sobrante pueda pegar entre sí las piezas del molde.

Unir las piezas, ajustar su posición correcta utilizando los pasadores, aplicar presión en los bordes utilizando gatos y pinzas metálicas potentes, y retirar resina que haya podido ser desplazada al exterior. Tomar nota de la hora de colocación de la última pieza. Cuando haya pasado el tiempo de curado, puede iniciarse la extracción del molde.

5- Extracción y retoque. La extracción se realiza con todas las precauciones comentadas en la realización del molde.

Se repasan con limas, fresas o escofinas los bordes, y se retocan, con color aglutinado con resina, las pequeñas diferencias observadas.



6- Como en este caso una de las condiciones del facsímil es que no flote, se realizaron perforaciones en lugares discretos, poco visibles para provocar la entrada de agua y el hundimiento.



DETALLES DE LA INMERSIÓN EN EL FONDO MARINO DEL ECOSISTEMA POLAR DE FAUNIA



fecha de finalización.

El día 15 de noviembre de 2007 se sumergieron en el hábitat de los pingüinos los últimos elementos del esqueleto (los dos huesos de la mandíbula inferior).



RESUMEN BIBLIOGRÁFICO

Moldeo

G. Accardo, M. Micheli, *L'UTILIZZAZIONE DI MODELLI PER LO STUDIO DI PROBLEMI STRUTTURALI E FORMALI. UNA METODOLOGIA PER REALIZZARE COPIE SENZA CALCO*, in 'Bollettino d'Arte' 41, 1987, pp. 111-125.

Giusti, Annamaria, *STUDI PER UNA TECNOLOGIA DEI CALCHI*, Sculture da conservare. Milano 1990.

M. Matteini, A. Moles, I. Tosini, *INTERAZIONI TRA I MATERIALI COSTITUTIVI DEI MANUFATTI E LE SOSTANZE UTILIZZATE PER IL CALCO: CONTROLLO DI ALCUNE PROCEDURE*, in Sculture da conservare... cit., pp. 138-147

C. Manganelli del Fa, *L'IMPIEGO DI UN ELASTOMERO FLUORURATO COME DISTACCANTE NELLA REALIZZAZIONE DEI CALCHI*, in Sculture da conservare... cit., pp. 148-149.

S. Angelucci, D. Cipriani, M. Martini, *PER UN CALCO NON DISTRUTTIVO DELLE SCULTURE IN BRONZO*, in 3ª Conferenza internazionale Prove non distruttive, Metodi microanalitici e Indagini ambientali per lo Studio e la Conservazione delle Opere d'Arte', Ed. ICR;AIPnD-BetaGamma, Viterbo 4-8 ottobre 1992, pp.

Bourbon, M. (1992): *LES MOULAGES*. In "La conservation de la pierre monumentale en France". Presses du CNRS, Paris, 125-126.

Matteini, M., Moles, A. et Tosini, I. : *IL CALCO DIRETTO DEI MANUFATTI STORICO-ARTISTICI MEDIANTE ELASTOMERI SILICONICI: MATERIALI E PROCEDURE*. OPD Restauro, Rivista dell'Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro di Firenze, 5, note, 81 -86. 1993.

Mertz, J. D.: *STRUCTURES DE POROSITÉ ET PROPRIÉTÉS DE TRANSPORT DANS LES GRÉS*. Sci. Geol. Mem., 90, 149 pp. 1991

Navarro Lizandra, José Luis: *MAQUETAS, MODELOS Y MOLDES*. Publicaciones de la Universitat Jaume I. Castelló de la Plana, 2002.

Pereira Prado, Carlos.: *FACSÍMILES DE OBJETOS DE ARTE TRIDIMENSIONAL*. Rev. Restauración & Rehabilitación, números 25 y 26. 1999.

Pereira Uzal, José M^a, y López Fernández, Olalla. *MOLDEO SOBRE MATERIALES POROSOS*. R&R, Julio 2003.

Vaciado

Aa. Vv: *CURSO SOBRE CARGAS MINERALES*. Ed. INESCOP. 1997

Aa. Vv: *LOS MATERIALES COMPUESTOS Y SUS APLICACIONES ARQUITECTÓNICAS*. Universidad Politécnica de Madrid. Curso 87-88. Apuntes tomados por los alumnos de doctorado.

Aa. Vv: *LOS MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA DE VIDRIO*. Ed. Secretariado de publicaciones de la Universidad de Zaragoza. 1991.

Aa. Vv: *REINTEGRACIÓN VOLUMÉTRICA. ESTUDIO DE MATERIALES DE RELLENO*. Rev. Restauración & Rehabilitación. Abril 2001.

Grattan, D.V., et Barclay, R.L: *A STUDY OF GAP FILLERS FOR WOODEN OBJECTS*. Studies in Conservation 33, 1988.

Horie, C.V: *MATERIALS FOR CONSERVATION. ORGANIC CONSOLIDANTS, ADHESIVES AND COATINGS*. Butterworths, London. 1987.

Martínez Villa, A: *LOS NUEVOS MATERIALES EN LA IMAGINERÍA TRADICIONAL: IMÁGENES EN DERIVADOS DE POLIÉSTER*. Tesis doctoral. Universidad de Granada. 1996.

Pdmaniczky, Michael: *STRUCTURAL FILLS FOR LARGE WOOD OBJECTS: CONTRASTING AND COMPLEMENTARY APPROACHES*. Journal of the American Institute for Conservation, 37, 1998.

Ramos Carpio, M.A., y De María Ruiz, M. R: *INGENIERÍA DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS*. Ed. Díaz de Santos. 1988, Madrid.

Tsai, S., Miravete, A: *DISEÑO Y ANALISIS DE MATERIALES COMPUESTOS*. Reverte Editorial, 1987.



El grupo de investigación Arte, Ciencia y Naturaleza de la facultad de Bellas Artes, Universidad Complutense, quiere expresar su agradecimiento a todas las entidades y personas que han participado en la realización de este proyecto:

A la empresa Parque biológico de Madrid (Faunia)

A la Facultad de Ciencias biológicas

Al Museo Nacional de Ciencias Naturales

A todos los alumnos colaboradores y técnicos especialistas.

Y a la oficina Otri de la Fundación General Complutense.



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID